



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 03 436 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
B 23 K 26/34

②① Aktenzeichen: 199 03 436.2
②② Anmeldetag: 29. 1. 1999
④③ Offenlegungstag: 24. 8. 2000

DE 199 03 436 A 1

⑦① **Anmelder:**
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦② **Vertreter:**
PFENNING MEINIG & PARTNER, 01217 Dresden

⑦③ **Erfinder:**
Nowotny, Steffen, Dr.-Ing., 01445 Radebeul, DE;
Techel, Anja, Dr.-Ing., 01462 Cossebaude, DE;
Beyer, Eckhard, Prof.Dr.-Ing.habil., 01474
Schönfeld-Weißig, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

DE 195 37 264 A1
US 58 37 960 A

HOFFMANN, P., (u.a.) Lasergestütztes Rapid
Tooling, In: Geieger, M. (Hrsg./Ed.) Schlüssel-
technologie Laser: Herausforderung an die
Fabrik 2000, Proc. of the 12. Int. Congress
(Laser C95), Bamberg: Meisenbach, 1995, S. 135,
136, 147;
HAFERKAMP, H., (u.a.): Rapid Manufacturing, In:
Laser-Praxis, Suppl. zu Hanser Fachzeitschriften
Oktober, 1994, S. LS63-LS66;
KLOCKE, F., (u.a.): Auf gute Zusammenarbeit, In:
Form+Werkzeug, März 1996, S. 42-44;
BEYER, E., (u.a.): Oberflächenbehandlung mit
Laserstrahlung, Berlin u.a. Springer-Verlag,
1998;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Formkörper**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung
dreidimensionaler Formkörper aus zumindest teilweise
schmelzbarem Material, bei dem das Laserstrahl-Präzi-
sions-Auftragschweißverfahren oder selektives Lasersin-
tern angewendet werden kann. Mit der Erfindung sollen
aufgabengemäß solche dreidimensionalen Formkörper
kostengünstig, in kurzer Zeit und gegebenenfalls unter
gezielter Beeinflussung bestimmte Eigenschaften herge-
stellt werden können. Erfindungsgemäß wird hierzu ein
Hüllkörper mittels Laserstrahl-Präzisions-Auftragschwei-
ßens oder selektives Lasersintern schichtweise aufgebaut
und im Nachgang hierzu ein im Hüllkörper ausgebildeter
Hohlraum mit dem Hüllkörpermaterial oder mindestens
einem zweiten Material zumindest teilweise befüllt.

DE 199 03 436 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Formkörper aus zumindest teilweise schmelzbarem Material, bei dem das Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren oder selektives Lasersintern angewendet wird. Mit der Erfindung können günstig und schnell Prototypen von Formkörpern oder Kleinserien solcher Formkörper hergestellt werden, wobei auch Formkörper mit filigranen Konturen relativ einfach und präzise hergestellt werden können.

Mit dem Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren wurden bisher die verschiedensten Bauteile vollständig oder bei verschlissenen bzw. teilweise zerstörten Bauteilen, diese durch vollständigen Materialauftrag in Gänze hergestellt bzw. die verschlissenen bzw. fehlenden Teile entsprechend ersetzt. Dabei wurde der Laserstrahl und/oder das Werkstück unter Verwendung von 3D-CAD-Datensätzen in mindestens drei Achsen gesteuert und ein schichtweiser Aufbau durch Aufschmelzen von Pulvern vorgenommen, wie dies auch bei anderen unter dem Begriff Rapid-Prototyping fallenden Verfahren durchgeführt wird. Dabei können die verschiedensten Materialien verwendet werden, die jedoch unter dem Laserstrahleinfluß aufgeschmolzen werden müssen, so daß bei dem fertigen Werkstück oder Bauteil dichte Strukturen, hohe Festigkeiten und hohe Präzision erreicht werden können.

Der Einsatz dieses Verfahrens ist aber auf bestimmte hierfür geeignete Werkstoffe begrenzt, so daß die Eigenschaften solcher Bauteile nur in bestimmten Grenzen entsprechend beeinflusst werden können.

Ein weiterer wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß relativ kleine Beschichtungsraten erzielt werden können und demzufolge die Zeit für die Herstellung eines Bauteiles mit diesem Verfahren relativ hoch ist. Es können lediglich Schichten mit einer begrenzten Schichtdicke und mit dem Laserstrahl in einer Schicht nur Spuren im mm-Bereich erzeugt werden, so daß der Laserstrahl bei größer dimensioniertem Bauteil in einer Schicht eine größere Anzahl von Einzelspuren erzeugen muß.

Das Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren ist z. B. von E. Beyer, K. Wissenbach in "Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung", Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1998 beschrieben worden.

Für bestimmte Bauteile und hier insbesondere bei hoch beanspruchten Bauteilen werden verschiedene Werkstoffe oder Materialien verwendet, um einmal die gewünschten Eigenschaften zu erreichen und zum anderen die Materialkosten entsprechend niedrig zu halten. So ist es in vielen Fällen üblich, ein relativ kostengünstiges Material oder einen solchen Werkstoff mit einer Beschichtung zu versehen, um die gewünschten Oberflächeneigenschaften zu erreichen. So werden beispielsweise Hartstoffe, wie verschiedene Carbide, enthaltende Pulvermischungen verwendet und mittels bekannter Auftragschweißverfahren oder durch Metallspritzen auf einen Grundkörper aus einem wesentlich kostengünstigeren und gegebenenfalls auch mit anderen Eigenschaften behafteten Grundkörper aufgebracht. Hierbei treten jedoch häufig Haftungsprobleme auf, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch zu Abplatzungen führen können und demzufolge eine entsprechend kürzere Lebensdauer oder entsprechende Einsatzbeschränkungen zu verzeichnen sind.

Ganz besonders problematisch ist der Auftrag solcher Beschichtungen bei verschiedenen Metallen, wie Aluminium und Magnesium, die unter atmosphären Bedingungen äußerst reaktiv sind, so daß an der Oberfläche ausgebildete Oxidschichten die Haftung von zusätzlichen Beschichtungen besonders stark beeinträchtigen.

Solche Hochleistungsbeschichtungen können auch nicht auf beliebige Grundkörper aufgebracht werden, da hierfür in der Regel bestimmte Oberflächenstrukturen erforderlich sind. Beschichtungen können außerdem nicht auf alle Werkstoffe aufgebracht werden und auch Kompositwerkstoffe oder Verbundwerkstoffe, bei denen ein aus mindestens zwei verschiedenen Materialien bestehender Grundkörper beschichtet werden soll, können in vielen Fällen bisher nicht zur Verfügung gestellt werden.

Des weiteren ist das unter den Begriff "Rapid-Prototyping" fallende selektive Lasersintern bekannt. Hierbei wird ein Metall- oder Keramikpulver in einer relativ dünnen Schicht gleichmäßig aufgebracht und anschließend die aufgetragene Pulverschicht selektiv gesintert. D. h., daß ein Laserstrahl einer bestimmten vorgebbaren Kontur folgend über die aufgetragene Pulverschicht geführt und das Pulver durch den Energieeinfluß des Laserstrahls in diesen Bereichen gezielt gesintert wird, wohingegen die Bereiche, die nicht durch den Laserstrahl beeinflusst werden ungesintert bleiben. So kann ein entsprechender dreidimensionaler Körper Schicht für Schicht aufgebaut werden. Ein solcher Körper kann aus den verschiedensten Pulvern oder Pulvermischungen hergestellt werden, wobei die verschiedenen Metalle, Metall-Legierungen oder auch Keramikpulver Verwendung finden.

Für die gewünschte Auslenkung des Laserstrahles werden üblicherweise 3D-CAD-Daten verwendet.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, mittels bekannter Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißtechnik oder selektiver Lasersintertechnik dreidimensionale Formkörper kostengünstig, in kurzer Zeit und gegebenenfalls unter gezielter Beeinflussung bestimmter Eigenschaften herstellen zu können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Lösung, können mit den in den untergeordneten Ansprüchen enthaltenen Merkmalen erreicht werden. Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Prototypen, und zur Kleinserienfertigung eingesetzt werden. Die erfindungsgemäß hergestellten Formkörper können günstigerweise als Gieß-, Spritz-, oder Druckgußformen sowie als Formen für die Herstellung von Schaumkörpern verwendet werden.

Ein weiterer günstiger Einsatzbereich besteht für Formkörper, bei denen ein Hüllkörper aus Titan mit einem Kern aus Magnesium, z. B. für Turbinenschaufeln hergestellt wird und hier die besonders günstigen Eigenschaften dieser Metalle ausgenutzt und die Verarbeitungsprobleme vermieden werden können.

Erfindungsgemäß wird dabei so vorgegangen, daß mit dem bekannten Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen unter Verwendung von 3D-CAD-Daten, die zumindest die Außen- und Innenkontur eines Hüllkörpers vorgeben, ein solcher schichtweise aufgebaut wird. Hierfür wird unter Berücksichtigung der gewünschten Oberflächeneigenschaften für den Formkörper, ein Material in Pulverform verwendet, das zumindest teilweise schmelzbar ist. Dabei können in einem solchen Pulver auch Komponenten enthalten sein, die, wie beispielsweise bestimmte Hartstoffe, bei den mit dem Laserstrahl erreichbaren Temperaturen nicht in die schmelzflüssige Phase gelangen und auch nicht aufgelöst werden und durch andere Pulverbestandteile beim Erstarren der schmelzflüssigen Phase eingeschlossen werden können.

Durch das Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen können Hüllkörper mit geringer Wandstärke, die minimal bei 0,1 mm liegt, Schicht für Schicht aufgebaut werden, wobei auch filigrane Innen- und Außenkonturen bzw. Überhänge

und Hinterschneidungen am Hüllkörper ausgebildet werden.

Zur Verringerung des für die Herstellung erforderlichen Zeitaufwandes für solche dreidimensionalen Formkörper wird der Hüllkörper nachfolgend befüllt, wobei zum einen das Hüllkörpermaterial oder zumindest ein weiteres Material für die Befüllung verwendet werden kann.

Günstigerweise kann bei der oder im Anschluß an die Befüllung mit dem befüllten Material ein fester Kern im Inneren des Hüllkörpers ausgebildet werden, der sämtliche Hohlräume oder Teile davon ausfüllt.

So kann der Hüllkörper mit einem schmelzflüssigen Material befüllt und der Kern bei Erstarren der Schmelze ausgebildet werden. Neben den verschiedenen anderen bekannten Gießverfahren, kann hier durch Druckbeaufschlagung auch das Druckgußverfahren angewendet werden, um besonders homogene und lunkerfreie Kerne zu erhalten.

Der Kern kann auch aus einem Metallschaum ausgebildet werden, wobei auch hier bekannte Verfahren verwendet werden können. Durch einen Kern aus einem Metallschaum kann die Masse für einen so hergestellten Formkörper entsprechend reduziert werden.

Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung eines solchen Metallschaumes, die abweichend von den herkömmlichen Verfahren ist, besteht darin, vor dem Befüllen mit der Schmelze in den Hüllkörper ein organisches Material, beispielsweise ein Granulat oder ein Pulver eines Polymers einzufüllen, das durch z. B. Erwärmung, die Wärme der Schmelze entgast, verdampft oder reaktiv Gas gebildet wird und dadurch das freigesetzte Gas entsprechende Hohlräume im erstarrenden Material ausbildet.

Es kann aber auch so vorgegangen werden, daß der vorbereitete Hüllkörper mit einem festen, beispielsweise pulverförmigen Material befüllt und anschließend durch Erwärmung und Aufschmelzen bzw. Sintern der Kern erhalten werden kann. Die entsprechende Erwärmung kann in herkömmlichen Öfen, aber auch induktiv bzw. unter Nutzung einer elektrischen Widerstandsheizung durchgeführt werden. Dabei kann es ausreichen, daß lediglich der Hüllkörper aus einem hierfür entsprechend geeigneten Material besteht und das eingefüllte Material lediglich durch Wärmeleitung und/oder in Verbindung mit Konvektion in die erforderlichen Temperaturbereiche gebracht wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch doppelwandige Hüllkörper ausgebildet werden, die dann beispielsweise als Form für die Herstellung entsprechender Bauteile eingesetzt werden können. Dabei wirkt sich besonders günstig die hohe Variabilität, die Möglichkeit der Ausbildung besonders filigraner Konturen und die mögliche Dünnwandigkeit solcher Hüllkörper vorteilhaft aus. Die zwischen den Doppelwänden ausgebildeten Hohlräume können dann mit geeigneten Materialien befüllt und entsprechende Formteile durch Polymerisation, Sintern oder Erstarren einer Schmelze hergestellt werden. Bei verschiedenen Formen solcher Formteile kann es erforderlich sein, den Hüllkörper aus mindestens zwei Teilen herzustellen, so daß eine geteilte Form zur Verfügung gestellt werden kann.

Ein doppelwandiger Hüllkörper kann aber auch verwendet werden, wenn der Hohlraum zwischen den beiden Wänden mit einem isolierenden Material ausgefüllt wird, so daß beispielsweise eine Wärmedämmung in Richtung des Inneren des Hüllkörpers erreichbar ist.

Insbesondere bei Formkörpern, die aus mehr als einem Werkstoff bestehen sollen, kann es günstig sein, den Hüllkörper so herzustellen, daß an seiner Innenwandung in bestimmten Bereichen Stege ausgebildet sind, die in den Innenraum hineinragen, um beispielsweise die Festigkeit zu erhöhen oder in bestimmten Bereichen ein entsprechendes Spannungsregime einzuhalten oder den Halt eines im Hüll-

körper ausgebildeten Kernes, durch eine stegkonturbedingte Klammerwirkung, zu verbessern. Solche Stege können entlang der verschiedensten Achsen oder auch spiralförmig ausgebildet sein.

Wie bereits eingangs erwähnt, kann für die Herstellung des Hüllkörpers mit dem Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren ein Pulver oder eine Pulvermischung verwendet werden, deren Auswahl gezielt auf die Beeinflussung mechanischer, thermischer, elektrischer, magnetischer oder physiologischer Eigenschaften des fertigen Formkörpers gerichtet werden kann.

Dabei besteht die Möglichkeit, das zu verwendende Pulver bzw. eine Pulvermischung während des Aufbaus des Hüllkörpers zu variieren, so daß die entsprechenden Eigenschaften am fertigen Formkörper lokal gezielt beeinflusst werden können. Bestimmte Bereiche könnten dann, z. B. eine höhere Elastizität, eine bessere Wärmeleitfähigkeit oder andere entsprechende Eigenschaften aufweisen, als dies in anderen Bereichen des fertigen Formkörpers der Fall ist.

Zur Erhöhung der Festigkeit des fertigen Formkörpers kann ein hierfür geeigneter Stützkörper, beispielsweise in Skelettbauweise verwendet werden, um den der Hüllkörper mittels Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen schichtweise aufgebaut wird und der nachfolgend vollständig vom Hüllkörpermaterial umschlossen ist. Vorteilhaft sollte ein solcher Stützkörper aus einem höherschmelzenden Material, als dies das Hüllkörpermaterial ist, bestehen. Sollte das Stützkörpermaterial jedoch aufgeschmolzen werden, kann eine entsprechende Auflegung des Hüllkörpermaterials erreicht werden. So kann entsprechend der jeweiligen Geometrie und Dimensionierung eines solchen Stützkörpers lokal gezielt Einfluß auf die Material- und demzufolge auch die Eigenschaften des fertigen Formkörpers genommen werden.

Ein weiteres Beispiel für eine mögliche Herstellung eines Formkörpers besteht darin, im Inneren des Hüllkörpers, gleichzeitig beim Aufbau des Hüllkörpers mit dem Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren eine Form- und/oder Stützstruktur herzustellen. So kann mit der Herstellung einer Formstruktur im Inneren des Hüllkörpers ein Hohlraum ausgebildet werden, der im Nachgang bei der Ausbildung im Hüllkörper weiter hohl bleibt, so daß diese Formstruktur die Kernfunktion beim Gießen bzw. Sintern übernehmen kann.

Eine solche Stützstruktur kann beispielsweise ähnlich wie ein Fachwerk ausgebildet werden und dadurch der fertige Formkörper, der im Inneren einen Kern aus einem beispielsweise leichten und gegebenenfalls auch einem Material mit relativ geringer Festigkeit aufweist, trotzdem eine hohe Stabilität und gleichzeitig eine Massereduzierung erreicht werden kann.

Da für die Ausbildung des Kernes im Inneren des Hüllkörpers zumindest eine Befüllöffnung und gegebenenfalls zusätzlich mindestens eine Entlüftungsöffnung erforderlich ist, sollten diese nach der Ausbildung des Kernes wieder mit dem Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren verschlossen werden, so daß eine dichte und homogene Oberfläche am Formkörper erhalten werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann vorteilhaft mit mechanischen Bearbeitungsschritten kombiniert durchgeführt werden, wobei es sich hierbei um verschiedenste zerspanende Bearbeitungen, wie z. B. Fräsen, aber auch um Erodierverfahren handeln kann. Die Kombination dieser verschiedenen Verfahren ist besonders sinnvoll, wenn bestimmte Bereiche des Formkörpers bearbeitet werden müssen, die am fertigen Formkörper und hier auch am Hüllkörper nur schwer oder gar nicht mehr zugänglich sind.

Für die Herstellung des Hüllkörpers können die verschiedensten Metalle und Legierungen (z. B. Kobalt- oder Nickel-Hartlegierungen) verwendet werden, wobei in diesen auch bekannte Hartstoffe enthalten sein können.

Für die Ausbildung des Kernes im Inneren eines solchen Hüllkörpers können ebenfalls die verschiedensten Metalle und Legierungen sowie die verschiedenen Keramiken, zellulosehaltige Materialien oder auch Kunststoffe verwendet werden. Dabei können für die Ausbildung des Kernes neben dem Hüllkörpermaterial auch solche Materialien verwendet werden, deren Schmelz- bzw. Sintertemperatur unter der Schmelztemperatur des Hüllkörpermaterials liegt.

Für den Fall, daß der Kern aus dem Hüllkörpermaterial oder einem höherschmelzenden Material als dies das Hüllkörpermaterial ist, bestehen soll, kann der Hüllkörper beim Einfüllen der entsprechenden Schmelze oder beim Aufschmelzen von außen gekühlt werden.

Der Hüllkörper kann, wie bereits erwähnt, mit einer minimalen Wandstärke von 0,1 mm hergestellt und dabei eine Rauhtiefe R_z von 20 bis 200 μm erreicht werden, so daß für viele Anwendungsfälle auf eine entsprechende Nachbearbeitung der Oberfläche des Hüllkörpers verzichtet werden kann. Für das Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen können relativ preiswerte CO_2 - oder Nd:YAG-Laser mit relativ geringer Leistung unterhalb 1 kW verwendet werden, so daß der anlagentechnische Aufwand, insbesondere unter dem Kostenaspekt begrenzt bleibt.

Stehen einmal die für die Herstellung eines entsprechenden Formkörpers erforderlichen 3D-CAD-Daten zur Verfügung, können weitere solcher Formkörper ohne weiteres identisch reproduziert werden, was insbesondere bei der Herstellung von entsprechenden Formwerkzeugen, die in größeren Abständen ersetzt werden müssen, bedeutsam ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist aber auch dann besonders vorteilhaft, wenn die Konstruktion eines Formkörpers teilweise verändert wird, so daß diese Änderungen relativ einfach berücksichtigt und dementsprechend geänderte neue Formkörper sehr schnell hergestellt werden können, wie dies beispielsweise für bestimmte Prototypen, die in Versuchsreihen Verwendung finden, häufig erforderlich ist.

Die erfindungsgemäße Lösung kann aber auch unter Rückgriff auf aus der Technik des selektiven Lasersinterns bekannte Erkenntnisse durchgeführt werden, was sich insbesondere dann vorteilhaft auswirkt, wenn zumindest ein Hüllkörper aus einem Keramikmaterial hergestellt werden soll.

Mit dem Verfahren des selektiven Lasersinterns können auch Hüllkörper hergestellt werden, die keine dichte Struktur aufweisen, sondern die Wände eines solchen Hüllkörpers in bestimmten Grenzen auch porös sind, wobei eine solche Porösität sowohl mit Keramik, wie auch mit Metallen erreicht werden kann. Ein solcher poröser Hüllkörper kann nun wieder mit einem entsprechenden Kernmaterial befüllt werden. Werden solche Kernmaterialien verwendet, die beispielsweise für verschiedenste Fluide absorbierende Eigenschaften aufweisen, können solche fertigen Formkörper als Speicherelemente für ein solches Fluid Verwendung finden.

Es können aber auch andere Materialien, wie z. B. zellulosehaltige Materialien in einen solchen Hüllkörper eingefüllt werden und ein solcher Formkörper kann dann, z. B. als Filter verwendet werden, wobei beispielsweise eine Grobfiltration mit dem porösen Hüllkörper und eine Feinfiltration mit dem befüllten Kernmaterial erreicht werden kann.

Die erfindungsgemäßen Formkörper können, in kompakter Form, d. h. als nahezu Vollkörper durch selektives Lasersintern hergestellt werden, wenn das überschüssige Pulver nicht aus dem fertigen Hüllkörper entfernt, sondern das im Inneren des Hüllkörpers verbliebene Pulver durch Er-

wärmung aufgeschmolzen bzw. gesintert wird, so daß ein nun in Gänze aus dem gleichen Material bestehender Vollformkörper hergestellt werden kann.

Wird mit höheren Energien, als beim selektiven Lasersintern gearbeitet, so kann der Hüllkörper, wie vom selektiven Lasersintern bekannt, durch vollständigen schichtweisen Pulverauftrag hergestellt werden, wobei die schichtweise Stabilisierung nicht durch Sintern, sondern durch Verschweißen der Pulverpartikel erreicht werden kann.

Ein Formkörper kann auch aus einem Hüllkörper, der mit einem geeigneten Pulver befüllt ist, hergestellt werden, in dem das den Kern bildende Pulver im Hüllkörper durch heibisostatisches Pressen gesintert wird. In diesem Falle sollte jedoch der Hüllkörper eine ausreichende Festigkeit aufweisen und Poren bzw. Öffnungen für die erforderliche Druckbeaufschlagung aufweisen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit Vorrichtungen durchgeführt werden, bei denen eine Relativbewegung eines Laserstrahles in bezug zu einer Bauplattform, auf der der Hüllkörper schichtweise aufgebaut werden soll, zumindest in zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Achsen möglich ist. Es sollte außerdem eine Bewegung der Bauplattform orthogonal zur Ebene der Bauplattform oder mittels einer Strahlformungseinheit die Lage des Fokuspunktes verändert werden können, wobei hier auf bekannte Antriebe und Strahlführungselemente, wie beispielsweise Scanner Spiegel, zurückgegriffen werden kann.

Insbesondere beim Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen sollte der Laserstrahl unter Verwendung eines Laserbearbeitungskopfes zumindest teilweise geführt werden. Dabei kann in dem Laserbearbeitungskopf sowohl die Pulverzuführung, wie auch eine Gasführung integriert sein. Das zugeführte Gas kann einmal für die Förderung des Pulvers sorgen und zum anderen auch als Schutzgas fungieren.

Es kann aber auch, wie bisher bei den herkömmlichen selektiven Lasersinternverfahren, das Pulver aus einem Vorratsbehälter mittels eines Rakels, der auch die Schichtdickendosierung einer einzelnen Pulverschicht übernehmen kann, schichtweise aufgetragen werden. Dabei werden alternierend im Wechsel eine Pulverschicht aufgetragen und selektiv bestimmte Bereiche dieser aufgetragenen Schicht durch Laserstrahlerwärmung gesintert bzw. verschweißt.

Eine solche Vorrichtung kann außerdem dadurch ergänzt werden, daß zusätzlich zumindest eine zerspanende oder eine Erodierereinheit vorhanden ist/sind, die ebenfalls in mindestens zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Achsen manipulierbar sind, so daß entsprechende Bearbeitungen am zumindest teilweise fertigen Hüllkörper vorgenommen werden können, ohne daß ein entsprechender Maschinenwechsel mit zusätzlichem Zeitaufwand erforderlich wird.

Eine zerspanende Bearbeitungseinheit oder auch eine Erodierereinheit können auch Bestandteil eines Industrieroboters oder mit einem solchen verbunden sein, so daß eine hohe Flexibilität bei der mechanischen Bearbeitung an einem Hüllkörper erreicht werden kann.

Nachfolgend soll die Erfindung an Beispielen beschrieben werden.

Beispiel 1

Es sollen Parameter genannt werden, wie ein Flügelzellenrad mit der Erfindung hergestellt werden kann. Dabei wird der Hüllkörper mit dem Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißverfahren hergestellt. Für den Hüllkörper wird ein aus 60 Masse-% WC/Co und 40 Masse-% NiBSi bestehendes Pulver verwendet und der Hüllkörper entsprechend der gewünschten Außenkontur des Flügelzellenrades mit einem CO_2 -Laser, der eine Leistung von 3,5 kW erreicht, her-

gestellt. Die Relativgeschwindigkeit Hüllkörper zu Laserstrahlbewegung liegt bei ca. 250 mm/min und es wird mit einer Laserintensität im Strahlfleck, von $1,5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ gearbeitet.

Als Förder- und Schutzgas wird Argon verwendet.

Der Kern eines solchen Flügelzellenrades wird aus einem NiBSi-Pulver, das in den fertigen Hüllkörper gefüllt worden ist, gebildet. Das überwiegend Nickel enthaltende Pulver hat zusätzlich 1,5 Masse-% B, 2,3 Masse-% Si und 0,25 Masse-% C. Die Ausbildung des Kernes kann nunmehr durch Aufschmelzen des Pulvers bei Temperaturen im Bereich 1050 bis 1150°C erfolgen.

Beispiel 2

Für die Herstellung eines Pumpengehäuses als Aluminiumformteil, das als Einzelstück für Versuchszwecke in einem Motor verwendet werden sollte, wird ein Hüllkörper aus AlSi10Mg-Pulver unter Verwendung eines Nd:YAG-Lasers durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen mit einer durchschnittlichen Wandstärke von etwa 1,2 mm hergestellt.

Der so erhaltene Hüllkörper wird mit dem gleichen AlSi10Mg-Pulver befüllt, wobei hier eine Schmelze verwendet wird. Dabei kann die Befüllung in mehreren Schritten stufenweise vorgenommen werden. Die Schmelztemperatur dieses Materials liegt bei 590°C.

Das fertige Pumpengehäuse hat konstruktiv bedingt lokal verschiedene Wandstärken, wobei große Teile jedoch Wandstärken von etwa 10 mm erreichen. Daraus folgt, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Fertigungszeit eines solchen Pumpengehäuses gegenüber dem herkömmlichen Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen stark verkürzt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Formkörper aus zumindest teilweise schmelzbarem Material, durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen oder selektives Lasersintern, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Hüllkörper mittels Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißens oder selektives Lasersintern schichtweise aufgebaut und anschließend ein im Hüllkörper ausgebildeter Hohlraum mit dem Hüllkörpermaterial oder mindestens einem zweiten Material zumindest teilweise befüllt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim oder nach dem Befüllen ein fester Kern in mindestens einem Hohlraum des Hüllkörpers ausgebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern durch Einfüllen von schmelzflüssigem Material, nach dessen Erstarren ausgebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß schmelzflüssiges Material druckbeaufschlagt in den Hüllkörper eingefüllt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern aus geschäumtem Material ausgebildet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das in den Hüllkörper eingefüllte Material induktiv oder mittels elektrischer Widerstandsbeheizung aufgeschmolzen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern aus dem befüllten Material durch Sintern oder Polymerisation ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Hüllkörper doppelwandig ausgebildet, der zwischen den Hüllkörperwänden angeordnete Hohlraum befüllt und mit dem Material im Hohlraum ein Formteil durch Polymerisation, Sintern oder Erstarren einer Schmelze gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der doppelwandige Hüllkörper aus mindestens zwei Teilen hergestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß an der Hüllkörperinnenwandung durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen Stege ausgebildet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Hüllkörper mit einem Pulver oder einer Pulvermischung durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen aufgebaut wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pulver oder eine Pulvermischung zur gezielten Beeinflussung mechanischer, thermischer, elektrischer, magnetischer oder physiologischer Eigenschaften verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusammensetzung des Pulvers oder der Pulvermischung während des Aufbaus des Hüllkörpers zur gezielten lokalen Beeinflussung der mechanischen, elektrischen, magnetischen, thermischen oder physiologischen Eigenschaften variiert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem den Kern ausbildenden Material eine bei Erwärmung entgasende oder ein Gas bildende organische Verbindung angegeben wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Hüllkörper um einen Stützkörper aus einem höher schmelzenden Material aufgebaut wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß im Inneren des Hüllkörpers eine Form- und/oder Stützstruktur durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen hergestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß Befüll- und/oder Entlüftungsöffnungen des Hüllkörpers nach der Befüllung durch Laserstrahl-Präzisions-Auftragschweißen verschlossen werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß während des schichtweisen Aufbaus des Hüllkörpers lokal gezielt eine mechanische Bearbeitung bereichsweise durchgeführt wird.

19. Verfahren nach einem der Abschnitte 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Hüllkörper aus einem Metall, einer Legierung oder einem Hartstoffe enthaltenden Metall oder einer Legierung oder einer Keramik hergestellt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ausbildung des Kernes ein Metall, eine Legierung, eine Keramik, zellulosehaltiges Material oder ein Kunststoff verwendet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß mit einem Hüllkörper aus einer Eisen-, Kobalt- oder Nickel-Hartlegierung, der mit Eisen, Aluminium, Kupfer oder einem anderen niedriger schmelzenden Metall befüllt wird, ein Formkörper hergestellt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß ein Formkörper aus einem aus Titan bestehenden Hüllkörper, mit einem Kern aus

Magnesium hergestellt wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß ein Hüllkörper mit einer minimalen Wandstärke von 0,1 mm hergestellt wird.
24. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens 5 nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laserstrahl, der in zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Achsen, in bezug zu einer Bauplattform auslenkbar ist und/oder die Bauplattform in mindestens diesen beiden Achsen bewegbar ist; und 10 die Bauplattform vertikal bewegbar und/oder sich die Fokusslage des Laserstrahles mittels einer Strahlformungseinheit ändern kann, von oben auf die Bauplattform gerichtet ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl über einen Laserbearbeitungskopf mit integrierter Pulver- und Gaszuführung 15 geführt ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß eine Pulverzuführung mit einer Pulverschichtdickendosierung vorhanden ist. 20
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine in mindestens zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Achsen bewegbare zerspanende Bearbeitungs- und/ 25 oder Erodierereinheit vorhanden ist/sind.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß eine Laserstrahlführungseinheit, eine Zerspanungs- und/oder Erodierereinheit Bestandteil eines Industrieroboters oder mit einem Industrieroboter 30 verbunden ist/sind.
29. Verwendung eines Formkörpers, hergestellt mit einem Verfahren nach Anspruch 1, 8 oder 9 als Guß-, Druckguß-, Spritzguß- oder Schaumform.
30. Verwendung eines Formkörpers, hergestellt mit einem Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 22 als Turbinenschaufel. 35

40

45

50

55

60

65